

学校编码: 10384

分类号\_\_\_\_\_密级\_\_\_\_\_

学 号: 20120051302148

UDC \_\_\_\_\_

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

红树植物外来种无瓣海桑单宁  
与营养动态的研究

Tannins and Nutrients Dynamics of Alien Mangrove Species

*Sonneratia apetala*

张 慧

指导教师姓名: 林 益 明 教授

专 业 名 称: 生 态 学

论文提交日期: 2008 年 04 月

论文答辩时间: 2008 年 06 月

学位授予日期: 2008 年 月

答辩委员会主席: 郑海雷 教授

评 阅 人: \_\_\_\_\_

2008 年 04 月

# 厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

# 厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（ ），在            年解密后适用本授权书。

2、不保密（ ）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名：                      日期：        年    月    日

导师签名：                      日期：        年    月    日

目 录	
中文摘要	I
英文摘要	III
第一章 前言	1
1.1 植物单宁的研究进展	1
1.1.1 植物单宁的概述	1
1.1.2 影响单宁形成的因素	1
1.2 植物氮磷的研究进展	2
1.2.1 养分内吸收的研究	3
1.2.2 氮磷比的研究	4
1.3 单宁和营养动态之间关系	6
1.4 红树植物单宁和氮磷的研究概况	7
1.5 本文研究的目的和意义	8
参考文献	10
第二章 无瓣海桑不同组分单宁含量以及 MALDI-TOF 质谱对无瓣海桑叶片单宁的结构分析	18
2.1 采样地的基本情况	18
2.2 材料与方法	18
2.2.1 样品的采集	18
2.2.2 样品的处理	18
2.2.3 单宁含量的测定方法	19
2.2.4 MALDI-TOF 质谱分析	19
2.3 统计分析和数据计算	20
2.4 结果与讨论	20
2.4.1 无瓣海桑不同组分的总酚含量	20
2.4.2 无瓣海桑不同组分的缩合单宁含量	21
2.4.3 无瓣海桑不同组分单宁与蛋白质结合能力	23

2.4.4 无瓣海桑叶片单宁的 MALDI-TOF 质谱分析 .....	23
2.4.5 讨论 .....	25
参考文献 .....	27
<b>第三章 无瓣海桑叶片单宁和氮磷含量的季节动态 .....</b>	<b>29</b>
3.1 采样地的基本情况 .....	29
3.2 材料与方法 .....	29
3.2.1 样品的采集 .....	29
3.2.2 样品的处理 .....	29
3.2.3 单宁含量的测定方法 .....	29
3.2.4 氮磷含量的测定方法 .....	29
3.3 计算方法 .....	29
3.4 统计分析 .....	30
3.5 结果与讨论 .....	30
3.5.1 无瓣海桑叶片衰老过程单宁的季节动态 .....	30
3.5.1.1 总酚含量的季节动态 .....	30
3.5.1.2 缩合单宁含量的季节动态 .....	30
3.5.1.3 单宁与蛋白质结合能力的季节动态 .....	32
3.5.2 无瓣海桑虫害叶片（成熟叶和衰老叶）单宁的季节动态 .....	32
3.5.2.1 虫害叶片总酚含量的季节动态 .....	32
3.5.2.2 虫害叶片缩合单宁含量的季节动态 .....	33
3.5.2.3 虫害叶片单宁与蛋白质结合能力的季节动态 .....	34
3.5.3 无瓣海桑地表不同分解阶段叶片的单宁变化 .....	35
3.5.4 无瓣海桑叶片衰老过程中氮含量的季节动态和地表不同分解阶段叶 片氮含量 .....	37
3.5.4.1 叶片衰老过程中完好叶片氮含量的季节动态 .....	37
3.5.4.2 虫害叶片（成熟叶和衰老叶）氮含量的季节动态 .....	37
3.5.4.3 地表不同分解阶段叶片的氮含量 .....	38
3.5.5 无瓣海桑叶片衰老过程磷含量的季节动态 .....	39
3.5.5.1 叶片衰老过程完好叶片磷含量的季节动态 .....	39

3.5.5.2 虫害叶片（成熟叶和衰老叶）磷含量的季节动态 .....	39
3.5.6 无瓣海桑叶片氮和磷的内吸收率及氮磷比 .....	40
3.5.7 讨论 .....	41
参考文献 .....	46
第四章 结论 .....	51
致谢 .....	54

## CONTENT

<b>Abstract (in Chinese)</b> .....	I
<b>Abstract (in English)</b> .....	III
<b>Chapter 1 Introduction</b> .....	1
<b>1.1 Studies of vegetable tannins</b> .....	1
1.1.1 Summary of vegetable tannins .....	1
1.1.2 Factors affecting tannins production .....	1
<b>1.2 Studies on vegetable nitrogen and phosphorus</b> .....	2
1.2.1 Nutrient resorption .....	3
1.2.2 N:P ratio .....	4
<b>1.3 The relationship between tannins and nutrients</b> .....	6
<b>1.4 Studies on tannins and nutrients of mangrove species</b> .....	7
<b>1.5 Purpose and aspects of study</b> .....	8
<b>References</b> .....	10
<b>Chapter 2 The tannins contents from different components of</b> <i>Sonneratia apetala</i> <b>and the structure of tannins</b> <b>purified from mature leaves analyzed by</b> <b>MALDI-TOF MS</b> .....	18
<b>2.1 Site description</b> .....	18
<b>2.2 Materials and methods</b> .....	18
2.2.1 Samples collection .....	18
2.2.2 Samples treatment .....	18
2.2.3 Analysis of tannins .....	19
2.2.4 MALDI-TOF MS .....	19
<b>2.3 Statistical analyses and calculation</b> .....	20
<b>2.4 Results and discussion</b> .....	20
2.4.1 The content of total phenolics in different components of <i>Sonneratia</i>	

<i>apetala</i> .....	20
2.4.2 The contents of condensed tannins in different components of <i>Sonneratia</i> <i>apetala</i> .....	21
2.4.3 The protein precipitation capacity in different components of <i>Sonneratia</i> <i>apetala</i> .....	23
2.4.4 The structure of hydrolysable tannins purified from mature leaves analyzed by MALDT-TOF MS .....	23
2.4.5 Discussion .....	25
<b>References</b> .....	27
 <b>Chapter 3 Seasonal dynamics of tannins and nutrient contents of</b>	
<b><i>Sonneratia apetala</i> leaves</b> .....	29
<b>3.1 Site description</b> .....	29
<b>3.2 Materials and methods</b> .....	29
3.2.1 Samples collection .....	29
3.2.2 Samples treatment .....	29
3.2.3 Analysis of tannins .....	29
3.2.4 Analysis of nitrogen and phosphorus .....	29
<b>3.3 Calculation</b> .....	29
<b>3.4 Statistical analyses</b> .....	30
<b>3.5 Results and discussion</b> .....	30
3.5.1 Seasonal dynamics of tannins contents with leaf senescence of <i>Sonneratia apetala</i> .....	30
3.5.1.1 Seasonal dynamics of total phenolics contents .....	30
3.5.1.2 Seasonal dynamics of condensed tannins contents .....	30
3.5.1.3 Seasonal dynamics of protein precipitation capacity .....	32
3.5.2 Seasonal dynamics of tannins contents in the mature and senescent leaves damaged by herbivore .....	32
3.5.2.1 Seasonal dynamics of total phenolics contents .....	32
3.5.2.2 Seasonal dynamics of condensed tannins contents .....	33



3.5.2.3	Seasonal dynamics of protein precipitation capacity.....	34
3.5.3	The total phenolics content and protein precipitation capacity at the different decay stages of leaves .....	35
3.5.4	The nitrogen contents with leaf senescence and at different decay stages of leaves .....	37
3.5.4.1	Seasonal dynamics of nitrogen contents with leaf senescence .....	37
3.5.4.2	Seasonal dynamics of nitrogen contents in the mature and senescent leaves damaged by herbivore.....	37
3.5.4.3	The nitrogen contents at the different decay stages of leaves .....	38
3.5.5	The phosphorus contents with leaf senescence and at different decay stages of leaves .....	39
3.5.5.1	Seasonal dynamics of phosphorus contents with leaf senescence .....	39
3.5.5.2	Seasonal dynamics of phosphorus contents in the mature and senescent leaves damaged by herbivore .....	39
3.5.6	The nutrient resorption efficiency and N:P ratio of <i>Sonneratia apetala</i> leaves.....	40
3.5.7	Discussion.....	41
<b>References</b>	.....	46
<b>Chapter 4</b>	<b>Conclusions</b> .....	51
<b>Acknowledgements</b>	.....	54

## 摘要

单宁是植物体内重要的次生代谢物质，对植物的抗逆性具有重要作用。而氮磷是限制植物初级生产力的重要营养元素。无瓣海桑 (*Sonneratia apetala*) 作为红树植物外来种，引种到我国后得到大面积种植。本文以广东湛江高桥无瓣海桑林为研究对象，分析了不同组分的单宁含量及其叶片单宁的季节动态，利用 MALDI-TOF MS 对成熟叶片纯化单宁的化学结构进行分析，并探讨了无瓣海桑叶片氮、磷含量的季节动态以及单宁和氮之间的相关性。研究结果表明：

1. 无瓣海桑不同组分（叶片、树皮、根、果）总酚含量在  $127.73 \pm 3.80 \sim 359.54 \pm 63.28 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  之间，其中树皮的总酚含量最高，而花的含量最低，叶的总酚含量也较高，在不同发育阶段叶片中差异不显著。可溶性缩合单宁在花中的含量也最低 ( $17.56 \pm 2.61 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )，但在果和树皮中最高 ( $276.48 \pm 9.62 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  和  $254.71 \pm 5.62 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ )。蛋白质结合能力在叶片和果较高，而在根中最低。

2. 经 MALDI-TOF 质谱分析显示，无瓣海桑成熟叶片纯化单宁是以葡萄糖分子和梲酰基为基本结构单元的水解单宁，其中梲酰基通过与葡萄糖或另一份子梲酰基脱水形成的共价键相连。

3. 无瓣海桑成熟叶的总酚含量在各季节均高于衰老叶。成熟叶和衰老叶的总酚含量季节变化规律相似，均是春季总酚含量最高，秋季最低。

无瓣海桑成熟叶和衰老叶的可溶性缩合单宁含量在各季节变化规律一致：衰老叶 > 成熟叶。衰老叶的可溶性缩合单宁含量在秋季最高为  $288.95 \pm 1.61 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ；春季最低  $133.76 \pm 14.48 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

无瓣海桑成熟叶和衰老叶的蛋白质结合能力的季节变化规律为冬季和夏季较高，秋季和春季较低。

4. 无瓣海桑完好叶片中的氮、磷含量均表现为成熟叶 > 老叶，并且氮含量与磷含量具有相似的季节动态，其中成熟叶和衰老叶氮含量秋季最高，分别为  $14.79 \pm 0.50 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  和  $6.02 \pm 0.13 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ；磷最高值也出现在秋季，分别为  $1.26 \pm 0.03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  和  $0.68 \pm 0.02 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ；而氮磷含量最低值均出现在春季，成熟叶和衰老叶中氮分别为  $9.28 \pm 0.46 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  和  $2.82 \pm 0.63 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ，磷分别为  $0.95 \pm 0.05 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  和  $0.53 \pm 0.03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ 。

在冬、春、夏季，虫害成熟叶中的氮平均含量低于完好成熟叶 ( $P < 0.05$ )，

而衰老叶中没有显著差异。

无瓣海桑成熟叶在各季节的氮磷比 (N: P) 介于 8~13 之间, 均小于 14, 表明无瓣海桑群落存在一定程度的氮限制。各季节氮内吸收率 (45%~80%) 均高于磷内吸收率 (40%~50%), 表明氮限制促进了无瓣海桑对氮的内吸收。

5. 在地表叶片分解过程中, 无瓣海桑落叶总酚含量由  $222.42 \pm 17.06 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  降至  $26.46 \pm 5.41 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , 氮含量由  $3.18 \pm 0.49 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  升至  $10.83 \pm 1.69 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ; 总酚与氮之间存在显著负相关:  $Y = -24.7787x + 295.571$  ( $n=24$ ,  $r = -0.825$ ,  $P < 0.01$ ); 单宁的蛋白质结合能力随着落叶的分解而逐渐降低。

**关键词:** 无瓣海桑; 单宁; 氮; 磷; 季节动态

## ABSTRACT

Tannins known as the group of phenolic compounds are the significant plant secondary metabolites. The reactivity of condensed tannin with proteins and formation of complexes has important nutritional and physiological consequences. Nutrient availability, especially N and P, is an important factor responsible for vegetation growth. *Sonneratia apetala* is an alien mangrove species. It has been widely planted in tropical and subtropical coastlines of China. In the present study, the *Sonneratia apetala* community at Gaoqiao of Zhangjiang City, Guangdong was selected, tannins levels in different components of *S. apetala* were determined, chemical structure of purified tannins from mature leaves was analyzed by MALDI-TOF MS; in addition, seasonal dynamics of tannins and nutrient concentrations of *S. apetala* leaves were also studied. The results showed as follows:

1. Total phenolics contents in the different components of *S. apetala* varied from  $127.73 \pm 3.80 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  to  $359.54 \pm 63.28 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ , with the lowest of flowers and the highest in bark; no significant difference was found at the developmental stages of leaves. The extractable condensed tannin content was the lowest for flowers ( $7.56 \pm 2.61 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ), and the highest for fruits ( $276.48 \pm 9.62 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) and barks ( $254.71 \pm 5.62 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ). The protein precipitation capacity was the highest in leaves and fruits, and the lowest in roots.

2. The purified tannins from mature leaves of *S. apetala* were characterized by MALDI - TOF MS. The result revealed that they were hydrolysable tannins. Galloyl group and glucose group was the basic unit occurring in the hydrolysable tannins. And the type of linkages between galloyl groups was through covalent bond.

3. Total phenolics contents of mature leaves were significantly higher than those of senescent leaves. Total phenolics contents of mature and senescent leaves followed the similar seasonal pattern, namely the highest in the spring and the lowest in the autumn.

The extractable condensed tannin contents increased with leaf senescence. The highest ( $288.95 \pm 1.61 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) of the senescent leaves was in the autumn, and the

lowest ( $133.76 \pm 14.48 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$ ) in the spring.

The seasonal pattern of protein precipitation capacity in the mature and senescent leaves was the higher in the winter and summer, and the lower in the autumn and spring.

4. As for intact leaves, mature leaves had the higher N and P concentrations than senescent leaves. There was the similar seasonal changes in N and P concentrations, The highest N concentrations of mature and senescent leaves were  $14.79 \pm 0.50 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  and  $6.02 \pm 0.13 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  in the autumn, and the lowest N concentrations of mature and senescent leaves were  $9.28 \pm 0.46 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  and  $2.82 \pm 0.63 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  in the spring; while the highest P concentrations of mature and senescent leaves were  $1.26 \pm 0.03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  and  $0.68 \pm 0.02 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  in the autumn, and the lowest P concentrations of mature and senescent leaves were  $0.95 \pm 0.05 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  and  $0.53 \pm 0.03 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  in the spring.

As for leaves damaged by herbivore, the average N concentrations of mature leaves were significantly lower than those of mature intact leaves, but there was no significant difference of the N concentrations between senescent leaves.

The N:P ratios of mature leaves ranged from 8 to 13, indicating the *S. apetala* community was N-limited. Meanwhile the nitrogen resorption efficiencies (NRE) (45%~80%) were higher the phosphorus resorption efficiencies (PRE) (40%~50%). This result demonstrated that plant species adapted to N-limited sites tend to resorb N more efficiently than P.

5. The total phenolics contents and protein precipitation capacity decreased with leaf decomposition. However, the N concentration increased during leaf decomposition, showing N immobilization. A negative correlation between total phenolics and N concentration in *S. apetala* leaves at various stages of decay ( $Y = -24.7787x + 295.571$ ,  $n=24$ ,  $r=-0.825$ ,  $P < 0.01$ ) was observed, which is indicative of humification reactions. Tannin–nitrogen interactions remain a critical area to study in terms of early diagenesis and nitrogen immobilization.

**Keywords:** *Sonneratia apetala*; tannins; nitrogen; phosphorus; seasonal dynamics

## 第一章 前言

### 1.1 植物单宁的研究进展

#### 1.1.1 植物单宁的概述

植物单宁 (vegetable tannins), 又称植物多酚, 是一类广泛存在于植物体内的多元酚化合物<sup>[1]</sup>, 在维管植物中的含量仅次于纤维素、半纤维素和木质素而居第四位, 主要存在于植物的皮、根、叶、果中, 含量可达 20% 甚至更高<sup>[2-4]</sup>。根据化学结构的不同, 植物多酚分为水解单宁 (鞣酸酯类多酚) 和缩合单宁 (黄烷醇类多酚)。

单宁是植物体内普遍存在的次生代谢物质和防御物质<sup>[5]</sup>, 具有减少植食者取食和降低食物营养、影响植食者消化能力<sup>[6]</sup>等作用。单宁在凋落物分解、养分循环、氮固定、微生物活性、腐殖酸形成、金属离子吸附和成土作用等生态过程中发挥作用。单宁在植物组织、凋落物和土壤中不仅能与有机大分子如蛋白质、纤维素、多糖、生物碱等形成不溶性的复合物<sup>[7]</sup>, 还能与多价金属离子络合形成复合物<sup>[8]</sup>。

植物单宁具有抗逆境作用, 高温、低温、干旱、紫外线辐射、盐度、贫瘠等环境都会诱导产生单宁用以适应外界环境胁迫。根据自由基生物学理论, 高温干旱和强烈辐射等逆境条件下, 植物产生大量活性氧物质和自由基, 导致植物受到伤害甚至死亡<sup>[9]</sup>。这意味着处于逆境中的植物体必须有很强的清除活性氧和自由基的能力, 植物多酚一方面通过还原反应降低植物体内的氧含量, 另一方面通过作为氢供体释放出氢与植物体内的自由基结合, 中止自由基引发的链锁反应, 从而阻止氧化过程的继续进行<sup>[10,11]</sup>, Rozema 等<sup>[12]</sup>的研究表明, 随着环境光照强度的升高, 除了叶片厚度增加外, 植物体内多酚等能吸收紫外光线, 次生代谢物质的含量也逐渐增加。因此, 植物体内多酚物质的增加是对环境光照增强的一种生物学适应性响应<sup>[13,14]</sup>。

#### 1.1.2 影响单宁形成的因素

植物单宁含量随环境条件, 如营养、光照、温度、CO<sub>2</sub>、水分和臭氧的变化而变化<sup>[15]</sup>。关于单宁的形成机理, 很多学者提出各种假说进行解释。传统上认为, 单宁的形成是为了提高植物对食草动物的抵抗性。而以资源为基础的假说, 如碳氮平衡假说<sup>[16]</sup>和生长-分化平衡假说<sup>[17]</sup>将次生代谢物质浓度的变化归

因于资源有效性的变化。碳氮平衡假说是建立在植物营养对植物生长的影响大于其对光合作用影响的理论基础之上,该假说认为植物体内以 C 为基础的次生代谢物质(如酚类、萜烯类、和其他一些仅以 C、H、O 为主要结构的化合物)与植物体内 C:N 比呈负相关。在营养胁迫时,植物生长的速度大为减慢,与之相比,光合作用变化不大,植物会累积较多 C、H 元素,体内 C:N 比增大,因此,酚类、萜烯类等以 C 为基础的次生代谢物质就会增多。然而,在遮阴条件下,光合作用降低,植物体内 C:N 比降低,导致酚类、萜烯类等不含 N 次生代谢物质数量降低。然而,有学者对作为一种模型解释次生代谢物质生产的变化的碳氮平衡假说提出了质疑<sup>[18]</sup>。他们认为,酚类物质浓度的变化可能是由于生长稀释或叶片发育过程中的变化而不是由于碳水化合物或养分有效性的变化<sup>[19]</sup>。而且,单宁生产的可塑性可能具有适应性,并提供诸如补偿性防御、抗紫外线、抗氧化以及养分吸收等作用<sup>[20]</sup>。生长分化假说与碳氮平衡假说具有相同的理论基础,但它比碳氮平衡假说的内容更为广泛。生长分化假说认为,在资源充足的情况下,植物以生长为主,反之则以分化为主。任何对植物生长影响超过对植物光合作用影响的环境因子,都会导致次生代谢物质的增多(如营养匮乏、低温、CO<sub>2</sub> 浓度升高等)。在支持这些假说的研究中,大多数发现在低营养条件和高大气 CO<sub>2</sub> 水平下总酚和单宁的浓度升高<sup>[21]</sup>。Jones 和 Hartley<sup>[22]</sup>提出蛋白质竞争模型来预测陆地高等植物叶片中单宁的分布和浓度变化,他们认为,蛋白质和多酚的合成需要共同的限制资源,即苯基丙氨酸,因此,氮而不是碳是多酚形成的限制因素。

除了随环境条件的变化,单宁还随基因型、物候(如绿色叶片和衰老叶)和季节而变化<sup>[23-25]</sup>。此外,单宁的结构组成也会随季节而变化<sup>[26]</sup>。这些变化可能是由于叶片成熟过程中的生物化学变化。除了植物生产的单宁类型的不同,已经存在的单宁可能会遭受氧化、水解或聚合<sup>[27]</sup>。如低分子量的单宁更易从叶片中渗出,单宁的组成也可能会发生变化<sup>[28]</sup>。

## 1.2 植物氮磷的研究进展

营养元素,尤其是氮和磷被认为是许多陆地生态系统中植物和海洋红树植物生长的重要影响因子,也是影响群落第一性生产力的重要因素之一<sup>[29-33]</sup>。

### 1.2.1 养分内吸收的研究

养分内吸收 (nutrient resorption) 是指养分从衰老叶片中转移并被运输到植物其他组织的过程。养分内吸收大小通常以养分内吸收效率表示, 它是指叶片衰老过程中再吸收的养分量占成熟叶片养分量的百分率<sup>[34]</sup>。养分内吸收效率能够表述植物叶片的相对养分保存效率<sup>[35]</sup>。养分内吸收对于营养元素的循环具有重要意义, 养分从衰老的叶片或其他树木组织中的再迁移、再吸收或再分配使得养分在植物体内的存留时间延长, 从而可以提供树木新的生物量生产所需的大部分养分<sup>[36]</sup>。养分的内吸收不仅能够降低植物受土壤养分可利用性波动的影响, 而且能够减少凋落物分解时的养分淋溶量, 从而减缓养分从整个系统的损失。因此, 养分内吸收不仅是植物对养分贫瘠环境的一种适应进化机制<sup>[37,38]</sup>, 也是植物保存养分、增强竞争力、提高养分吸收能力和生产力的重要策略之一。

不同物种的养分内吸收效率差异很大, 5~80%的植物叶片 N 内吸收效率和 0~95%的叶片 P 内吸收效率都有报道<sup>[39]</sup>。养分内吸收率的高低将影响落叶的 C:N 比, 从而影响落叶的分解速率及土壤中有效 N 的移动, 最终影响到森林生态系统的演替<sup>[40]</sup>。Aerts<sup>[41]</sup>认为生长于贫瘠生境中植物的共同特征表现为具有较高的养分内吸收效率, 而并不是因为具有很强的对土壤养分的吸收能力。Nambiar 等<sup>[42]</sup>则持相反观点, 他们认为高的内吸收率不是物种对养分胁迫的一种适应方式, 而是许多物种的固有特征之一, 也就是说养分元素内吸收率的高低与物种对低养分胁迫的适应性之间没有必然的联系。因此, 养分内吸收效率的高低与土壤养分有效性之间的关系尚无定论<sup>[43]</sup>。

植物养分内吸收率受多种因素的影响, 土壤有效养分含量的多少会对植物内吸收效率产生作用。Brigham 等<sup>[44]</sup>的研究结果表明, 在一定程度上, 随着土壤养分有效性的降低, 植物的养分内吸收效率增大, 但若土壤养分有效性下降到一定程度后, 就会降低养分内吸收率。植物的常绿特性与养分的贮存、保持及转移有密切的联系, 从而也影响着植物的养分内吸收效率。树叶特性和树冠形状对植物养分内吸收率也有影响, 如 Wang 等<sup>[45]</sup>研究表明具有塔状树冠的树木的养分利用效率比多枝树木的养分利用效率高。随树木年龄的增加, 植株的增大, 树木的养分内吸收效率也逐步提高<sup>[46]</sup>; 树木生长周期长, 其养分内吸收率也高, 反之, 养分内吸收率则低。植物次生代谢过程也会影响植物的养分内吸收率。低生产力



Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to [etd@xmu.edu.cn](mailto:etd@xmu.edu.cn) for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库